

Содержание занятия

- Общие сведения
- Классификация литых заготовок
- Литейные свойства сталей и сплавов
- Кристаллизация и формирование структуры слитка
- Классификация способов литья
- Основные технологические операции
- Специальные способы литья
- Контроль качества литых деталей
- Дефекты литых деталей

Общие сведения

Литейное производство – процесс получения фасонных отливок путем заполнения жидким металлом заранее приготовленных литейных форм, полость которых соответствует их размерам и форме (с технологическими припусками). После кристаллизации металла (застывания) литую деталь (заготовку), называемую отливкой, удаляют из литейной формы и отправляют последующей термической и механической обработки.

Только методом литья возможно придать металлу самые сложные формы, используя свойство жидкости приобретать форму сосуда. Литье позволяет наиболее целесообразно распределить металл в изделии: там, где деталь подвергается большой нагрузке, площадь ее сечения делают большей, а места, на которые падают незначительные нагрузки, более тонкими.

Во многих случаях литье – единственно возможный способ получения заготовок сложной формы. Сравнивая метод получения фасонных заготовок путем отливки с другими методами получения фасонных заготовок – ковкой или штамповкой и сваркой, необходимо отметить следующие преимущества метода отливки:

- с помощью отливки можно получить заготовки практически любой сложности по конфигурации. Ни путемковки и штамповки, ни путем сварки нельзя изготовить сложных фасонных заготовок, столько максимально приближающихся к форме готовой чистовой детали;
- припуски на механическую обработку в отливках могут быть весьма небольшими. Это преимущество литых заготовок имеет весьма большое технико-экономическое значение, так как механическая обработка деталей является наиболее дорогостоящим процессом во всем цикле машиностроительного производства;
- утилизация отходов металла в литейном производстве (литник и брак) не требует значительных затрат средств и времени. Указанные отходы нуждаются лишь в переплавке, и полученный из них жидкий металл снова используется непосредственно для заливки новых деталей. В ковочно-штамповочном же и сварочном производствах для превращения отходов металла снова в листы, профили и болванки, годные к повторному непосредственному использованию, нужна целая цепь дорогостоящих переделов: плавка, нагрев для прокатки, сама прокатка, резка и новый нагрев дляковки или раскрой для сварки;
- в литейном производстве не требуется столь дорогостоящего и тяжелого оборудования, как в ковочно-штамповочном (прессы, молоты). Поэтому постройка, монтаж и запуск литейного цеха не требуют столь больших капиталовложений и по срокам осуществляются значительно быстрее по сравнению с постройкой кузнечнопрессового цеха. Это преимущество литья представляет особую ценность в условиях, когда требуется максимальная быстрота перестройки или запуска производства на новый вид продукции;
- сравнивая полученные различными методами заготовки в отношении качества металла (прочности и надежности), необходимо отметить, что наличие в отливках скрытых раковин, неметаллических включений, более крупнозернистого строения и остаточных внутренних напряжений приводит к тому, что в отношении прочности и надежности литые заготовки в большинстве случаев (но не всегда) уступают кованым и штампованным. При правильно выполненной горячей обработке давлением металл

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

приобретает мелкозернистое и плотное строение. Кроме того, кованая деталь получает в известной мере волокнистое строение, что при надлежащем расположении волокон значительно ее упрочняет.

Классификация литых заготовок

В литейном производстве для получения металлических отливок применяют более 50 видов литья, которые отличаются друг от друга по материалу литейной формы, по способу подачи в нее заливаемого металла, по точности размеров, по чистоте поверхности отливок, по производительности и степени сложности технологического процесса.

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;
- особо ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. *Типовые детали* – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентиля и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

Литейные свойства металлов

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. При выборе материала для изготовления литой детали имеет значение не только прочность сплава. Важно знать, хорошо ли он льется (жидкотекучесть), как быстро затвердевает, какую дает усадку (насколько он уменьшается в объеме при затвердевании).

Если взять разные жидкости – воду, керосин, сметану и вылить на поверхность несколько капель каждой из этих жидкостей, то можно заметить, что вода и керосин растекаются гораздо быстрее сметаны. Они обладают лучшей жидкотекучестью. Так же и металлические сплавы: одни растекаются быстро, другие – очень медленно. Если сплав в жидком состоянии подвижен и невязок, то он легко заполнит любую сложную форму, быстро проникнет в ее тончайшие извилины. Из такого сплава можно получать отливку с тонкими стенками. Из сплавов, которые растекаются медленно, "лениво", тонкостенную отливку не получишь: они застынут прежде, чем заполнятся все извилины формы. Из таких сплавов изготавливают лишь простейшие по форме отливки.

Одновременно, разные сплавы обладают и разной усадкой. Если это заранее не предусмотреть, в отливке могут оказаться трещины. Внутри отливок из сплавов с низкой жидкотекучестью часто образуются усадочные раковины, т. е. пустоты.

Т.о., к основным литейным свойствам сплавов относят:

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы. Например, медь в расплавленном состоянии густая и плохо заполняет форму.

Усадка — свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки. Различают *объемную* и *линейную* усадку.

В результате *объемной усадки* появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки. Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли — дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Газопоглощение — способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация — неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах.

Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Перед тем как рассмотреть сам процесс разлива, остановимся на свойствах металла, необходимых для получения хорошего качества отлитых деталей.

Если рассматривать конкретные сплавы, то можно сказать следующее:

Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Обладает хорошими литейными свойствами в сравнении со всеми остальными сплавами: относительно не высокая температура плавления — $(1100 \div 1200)^\circ\text{C}$, достаточная жидкотекучесть, небольшая усадка). Из серого чугуна получают самые дешевые отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз — чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

Сталь имеет значительно худшие литейные свойства, чем чугун. В первую очередь, она имеет меньшую жидкотекучесть и, следовательно, хуже заполняет форму. Однако высокая прочность и вязкость стальных отливок являются их значительным преимуществом. В некоторых случаях, стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Усадка стали также больше, чем у чугуна и большинства цветных металлов.



При затвердевании (с температуры солидуса до температуры окружающей среды) объем стали сокращается от $(2 \div 5) \%$ (соответственно при содержании углерода от $0,1 \%$ до $0,7 \%$). Для сравнения: линейная усадка серого чугуна — $(0,8 \div 1,3) \%$; алюминиевых сплавов — $(0,9 \div 1,45) \%$; для медных сплавов — $(1,4 \div 2,3) \%$.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

Литейные стали, как правило, содержат до $0,9 \%$ Mn, до $0,52 \%$ Si и не более $0,06 \%$ S и $0,08 \%$ P.

Литейные легированные стали по свойствам уступают углеродистым из-за того, что при легировании расширяется интервал кристаллизации и уменьшается теплопроводность (возрастают термические напряжения).

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Многие литейные стали имеют ту же марку, что и деформируемые, отличаясь лишь буквой Л в конце марки (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л и 35ХМЛ, 35ХГСЛ, 12Х18Н9ТЛ и др.).

Классификация способов литья

Большая часть отливок получается литьем в *песчаные* формы. Специальные способы литья иногда могут значительно повышать его стоимость, позволяют получать отливки повышенного качества с минимальным объемом механической обработки. Общий объем литых заготовок специальными способами в машиностроении не превышает 15 %.



Схема 1. Классификация способов литья

Существует целый ряд способов получения отливок. Их можно разделить на две основные группы:

- используются одноразовые литейные формы и после получения отливок их разрушают. К этой группе относят литье в песчано-глинистые формы и специальные виды литья - оболочковое литье и литье по выплавляемым моделям;
- используются многоразовые формы. Это литье в кокиль, литье под давлением и центробежное литье.

Разовые формы изготавливаются из формовочной смеси и годны для получения только одной отливки. Постоянные формы – обычно металлические, выдерживают большое число заливок. Для литья под давлением и центробежного литья применяют постоянные формы.

Для получения отливок применяют также полупостоянные керамические формы. Их делают из особых, обжигаемых при высокой температуре ($600 \div 700$) °С смесей. Они служат обычно $40 \div 50$ раз.

Очень эффективны постоянные металлические (кокильные) формы: их можно использовать для заливки металла сотни и даже тысячи раз.

Наиболее широкое распространение получило литье в песчано-глинистые формы. Это объясняется универсальностью данного способа: его применение не ограничено ни родом сплава, ни температурой, ни массой и конфигурацией отливки, ни масштабом производства. Сам способ формовки (приготовление литейной формы) может быть, как ручным, так и машинным, вплоть до создания поточных автоматизированных линий.

Стремление сделать такие отливки, которые не требовали бы дополнительной обработки на станках, породило различные методы точного литья: в оболочковую форму, под давлением, кокильное, центробежное и др. Ниже мы остановимся на этих методах подробнее. Однако основная масса литья (до 85 %) пока производится в песчано-глинистых формах. Рассмотрим, как получаются такие отливки.

Формирование структурных зон слитка

Рассмотрим реальный процесс затвердевания стального слитка. В изложнице (форме) сталь не может затвердеть одновременно во всем объеме из-за невозможности создания равномерной скорости отвода тепла. Поэтому процесс кристаллизации стали начинается у холодных стенок и дна изложницы, а затем распространяется внутрь жидкого металла.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

При соприкосновении разливаемого металла с поверхностью изложницы происходит очень быстрое, практически мгновенное и глубокое переохлаждение расплава ниже точки ликвидуса. В результате этого на поверхности изложницы из жидкого металла формируется большое число зародышей кристаллизации, которые в дальнейшем растут, мешая друг другу, образуя множество мелких неориентированных равноосных кристаллов. Так образуется внешний слой слитка, называемый корковой зоной (первая зона слитка).

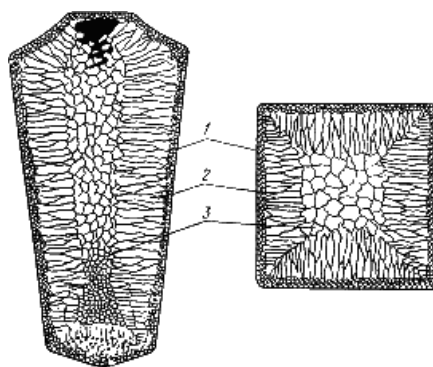
Так как объем твердого металла меньше жидкого, между стенкой изложницы и застывшим металлом образуется воздушная прослойка и сама стенка нагревается от соприкосновения с металлом, поэтому скорость охлаждения металла и продвижения фронта кристаллизации снижаются. При этом новые зародыши кристаллов уже не могут образовываться и продолжается лишь рост ранее образовавшихся кристаллов в направлении отвода теплоты. Так образуется слой крупных, ориентированных кристаллов, называемых столбчатыми (вторая зона слитка) или *дендритами*.

В момент, когда температура жидкости у оси слитка становится близкой к температуре ее кристаллизации, градиент температур в жидкой сердцевине слитка становится близким нулю, и рост столбчатых кристаллов прекращается. Начинается формирование *третьей структурной зоны* слитка - *зоны крупных, равноосных, неориентированных кристаллов*. Эти кристаллы растут равномерно во всех направлениях и достигают большой величины, поскольку в своем росте они не мешают друг другу. Протяженность данной зоны растет с уменьшением температуры заливки.

В отдельную структурную зону выделяют конусообразную зону в нижней придонной части слитка, называемую "конусом осаждения". Формирование данной зоны объясняется захлаживающим действием поддона и образованием застойной зоны, металл из которой наиболее слабо перемешивается с вышележащим расплавом.

В верхней части слитка, которая затвердевает в последнюю очередь, образуется усадочная раковина вследствие уменьшения объема металла при охлаждении. Под усадочной раковиной металл получается рыхлым из-за большого количества усадочных пор. Для получения изделий используют только часть слитка, удаляя усадочную раковину и рыхлый металл слитка для последующего переплава.

Схема стального слитка, представлена на Рисунок 1.



Слиток состоит из трех зон: 1 – мелкокристаллическая корковая зона; 2 – зона столбчатых кристаллов; 3 – внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Рисунок 1. Схема стального слитка

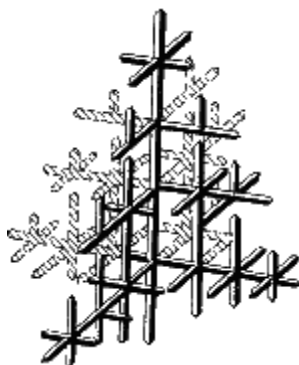


Рисунок 2. Схема дендрита

Основные технологические операции

Технология изготовления отливки начинается с разработки ее чертежа и рабочих чертежей, модельного комплекта (модели и стержневого ящика).

Технологический процесс получения отливок в разовых формах складывается из следующих основных операций (схема 2):

- изготовление модельных комплектов;
- приготовление формовочных и стержневых смесей;
- изготовление стержней и их сушка;
- подготовка литейных приспособлений (опок);
- формовка по моделям;
- плавка металла и заливка форм;
- выбивка и очистка отливок

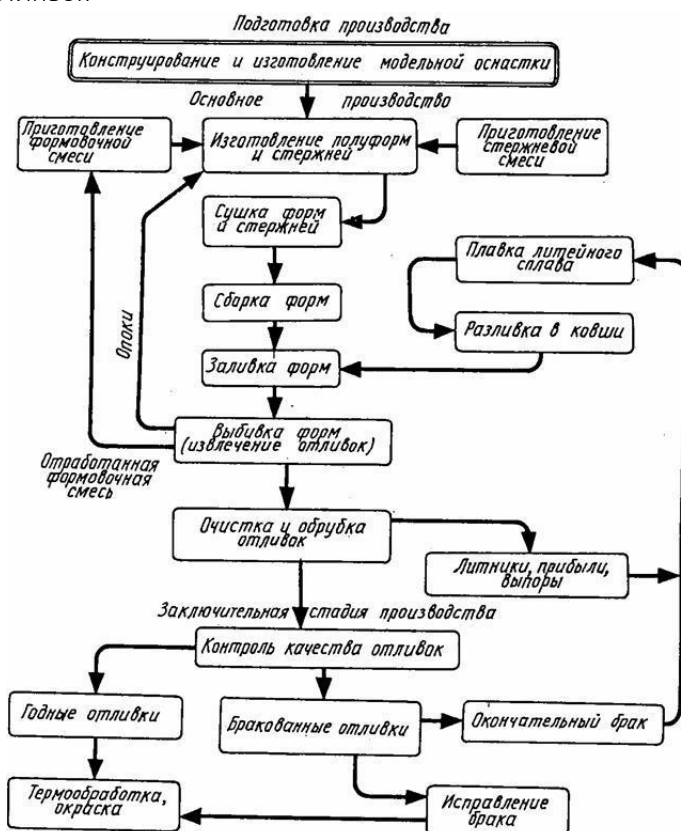


Схема 2. Технологический процесс изготовления отливки

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Более подробно с каждой технологической операцией изготовления литой детали классическим способом в одноразовую песчаную форму можно ознакомиться в приложении 1.

Специальные способы литья

Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения. Рассмотрим коротко каждый способ.

Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением термореактивных связующих материалов.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой $(0,2 \div 100)$ кг с толщиной стенки $(3 \div 15)$ мм из всех литейных сплавов.

Литье по выплавляемым моделям

Поиски лучших методов литья привели к еще одному решению: делать модели не из дерева или металла, а из особого легкоплавкого воскообразного вещества. Такую модель покрывают огнеупорной керамической оболочкой и заформовывают в опоку. Горячий металл расплавляет воск (парафин, стеарин) и занимает его место.

Впрочем, этот метод не нов. Им пользовались еще в начале прошлого столетия. Смысл способа в том, что модель не надо извлекать из формы, она сама выплавляется. Поэтому такой способ и называют *литьем по выплавляемым моделям*. Это позволяет получать из чугуна, стали и бронзы очень точные отливки

Т.о., *литье по выплавляемым моделям* – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям представлены в Приложении 2.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой $(0,02 \div 15)$ кг с толщиной стенки $(0,5 \div 5)$ мм.

Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин), коррозионностойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность). Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

Литье в металлические формы

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40 % всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Кокиль - французское слово, в переводе на русский язык означает "раковина". Это толстостенная металлическая форма. Ее применяют, когда необходимо изготовить много одинаковых отливок.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Схема получения отливок в кокиле представлена на Рисунок 2.

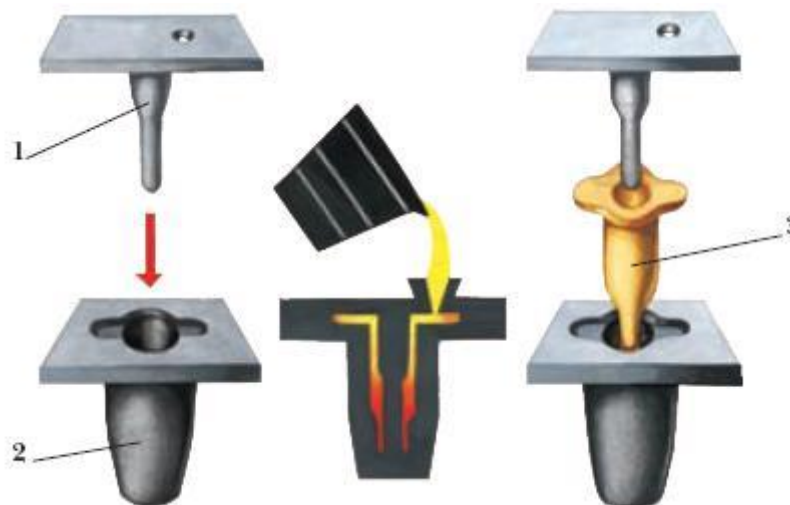


Схема литья в кокиль: стержень (1) вставляется в кокиль (2); через отверстие в промежутке между кокилем и стержнем заливается металл и деталь готова (3).

Рисунок 2. Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Перед заливкой металла в одну из половин кокиля вставляют стержни. Затем две половины кокиля соединяют и плотно скрепляют. В собранный кокиль заливают жидкий металл. Здесь он очень быстро затвердевает. Через несколько минут после заливки деталь можно уже вынуть. Затем внутреннюю поверхность кокиля продувают сжатым воздухом, прокрашивают, и процесс начинается снова. Таким образом, в один и тот же кокиль можно многократно заливать металл и получить сотни и даже тысячи одинаковых отливок.

Этот способ имеет много преимуществ перед литьем в земляные формы. Не нужна формовочная земля, отпадает необходимость в землесмесительных и формовочных машинах, кранах и т. д. Улучшаются условия труда, повышается производительность, а отливки не нуждаются в дальнейшей обработке на станках. Но зато на производство самих кокилей приходится затрачивать много дорогостоящего металла, труда и времени. Однако в конечном счете эти дополнительные затраты оправдываются и кокильное литье внедряется все шире.

Литье в кокиль применяют для простых по конфигурации отливок из чугуна, стали и цветных сплавов массой от нескольких сотен граммов до нескольких тонн. Созданы специальные кокильные литейные машины, работа на которых механизирована и автоматизирована.

Рабочую поверхность кокиля предварительно подогревают до $(150 \div 180)^\circ\text{C}$ и покрывают из пульверизатора слоем огнеупорного покрытия толщиной $(0,3 \div 0,8)$ мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрывают из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки $(3 \div 100)$ мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

Литье под давлением

Мы уже знаем, что литейные сплавы отличаются разной степенью жидкотекучести. Но оказалось, что если подвергнуть слой жидкого металла большому давлению (до нескольких десятков МПа), то металл можно заставить течь быстрее. Однако обыкновенные кокили не выдерживают высокого давления и разрушаются. Поэтому формы для литья под давлением изготавливают из специальной стали, их называют пресс-формами, а литье под давлением иногда называют еще пресс-литьем.

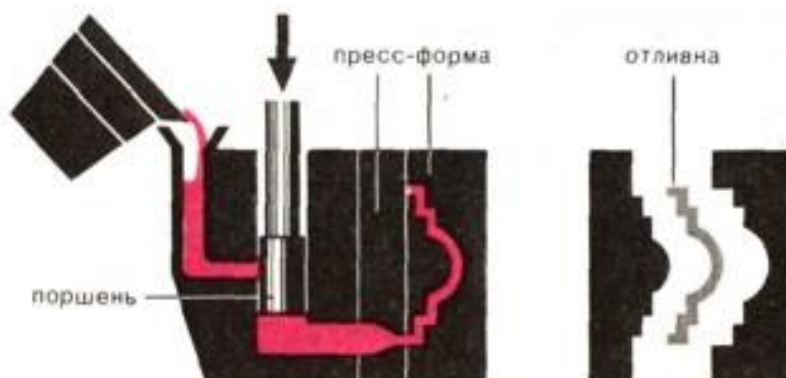


Рисунок 3. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

При этом методе литья жидкий металл входит в форму не под действием силы тяжести, а вводится в нее давлением сжатого воздуха или поршня и заполняет все пустоты формы.

При литье под давлением металл заливают в постоянную стальную форму (она может быть холодной или подогретой) под давлением поршня или сжатого воздуха. Детали, полученные таким способом, имеют 5 - 6 квалитет точности, так что механическая обработка их незначительна или вообще не нужна. Литьем под давлением отливают детали размерами до 300 мм (с заливкой в форму до 2 л металла) с резьбой, отверстиями тонкими приливами и выступами.

Металл в отливках, полученный под давлением, имеет мелкозернистую структуру вследствие быстрого охлаждения в стальной форме, поэтому прочность этих отливок деталей всегда выше прочности деталей, отлитых в песчаные формы.

Камера прессования может быть холодной или горячей. Металл плунжером под давлением до 100 МПа вводится в пресс-форму.

Перед заливкой пресс-форму нагревают до $(120 \div 320)$ °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают противопригарными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

Литье под давлением применяют для отливки сложных деталей, главным образом из цветных металлов и сплавов (цинковых, алюминиевых, магниевых, медных). Машины для литья под давлением способны выпускать по несколько тысяч отливок в смену. Таким способом можно получать отливки с очень тонкими стенками (минимальной толщиной стенок 0,8 мм) и высокой точностью размеров, малой шероховатостью поверхности.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

Центробежный способ литья

При этом способе металл заливают во вращающуюся металлическую форму. Способ основан на использовании центробежной силы, прижимающей металл к стенкам формы, и позволяет получать отливки высокого качества с обеспечением высокой плотности металла.

Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения. Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка изделия, имеющие форму тел вращения (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железнодорожных и трамвайных вагонов).

Металлические формы – изложницы – изготавливают из чугуна и стали. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом.

На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С.

Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на Рисунок 4.

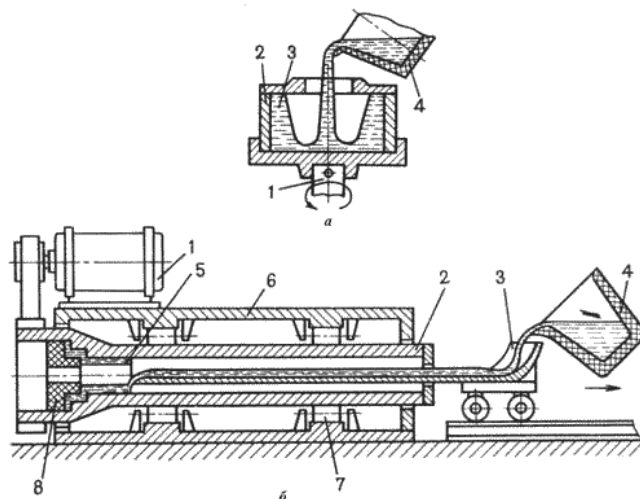


Рисунок 4. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (Рисунок 4, а) металл из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (Рисунок 4, б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница приводится в движение электродвигателем 1. Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава.

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостатки:

- наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях;
- возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества:

- получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней;
- экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы;
- возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Литье по газифицируемым моделям

Метод литья по газифицируемым (пенополиуретановым) моделям запатентован в 1958 г. в США.

Литье по газифицируемым моделям (метод литья ЛГМ) — технологический процесс получения отливок, использующий пенополистирольную модель, которую газифицируют при заливке. Точность отливки получается, как при литье по выплавляемым моделям, а затраты сопоставимы с литьем в песчано-глинистые смеси.

Общая технология процесса проста: модель изготавливается из пенопласта с малой плотностью. Окрашенная модель с литниковой системой помещается в опоку, которую заполняют песком или другим опорным материалом. Затем на газифицируемую модель заливают жидкий металл. От тепла металла модель газифицируется, и ее место занимает металл. После охлаждения отливку выбивают, очищают и передают на последующие финишные операции. Такова общая схема технологического процесса. Тем не менее различают два процесса: процесс, применяемый в индивидуальном производстве, и процесс, осуществляемый при серийном и массовом производстве.

Механическая обработка пенополистирола может производиться на деревообрабатывающем оборудовании. Пенополистирол хорошо обрабатывается проволокой, нагреваемой электрическим током.

Соединение отдельных элементов литейных моделей осуществляется склеиванием, сваркой и спеканием токами высокой частоты.

Применяются различные клеи, которые не разрушают полистирол, не влияют на газификацию модели и на химический состав металла, а также легко выгорают.

Формовка моделей может осуществляться различными способами: трамбованием, встряхиванием, вибрацией. При этом используют песчано-глинистые, жидкостекольные, самоотвердеющие, цементные смеси. Одним из преимуществ рассматриваемой технологии является возможность формовки в сухой песок, не содержащий связующего. При этом целостность формы сохраняется за счет того, что песок удерживается металлом, замещающим в форме модель, и парами стирола, которые, проникая в форму, скрепляют между собой частички песка. При плавке металла пенополистирол вначале быстро расплавляется, затем газифицируется и воспламеняется. Горение паров стирола сопровождается выделением копоти и продуктов разложения модели. При литье в закрытую форму, т. е. без доступа воздуха, горения не происходит. Пенополистирол только плавится и газифицируется, а пары стирола, проникая в форму, конденсируются в ней. Таким образом, в отличие от других методов литья при литье по газифицируемым моделям (моделям из пенопласта) создаются условия, позволяющие не удалять модель из формы перед заливкой. В некоторых случаях модели из пенопласта перед заливкой металла удаляются из формы путем выжигания, возгонки, растворения и т. д.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Благодаря сравнительной простоте механической обработки полистирола и изготовления моделей из этого материала литье по газифицируемым моделям нашло применение для изготовления художественных отливок. Эту технологию целесообразно использовать, когда необходимо изготовить единичный экземпляр несложной по конфигурации отливки, например фирменной или мемориальной доски, различных накладок с несложным орнаментом и т. п.

Процесс, осуществляемый в серийном и массовом производстве, отличается от индивидуального производства. Для изготовления моделей используют гранулы полистирола, которые готовят путем полимеризации стирола с одновременным введением в состав низкокипящих компонентов. Это позволяет при нагреве гранул до 80—100 °С получить пористый полистирол. Одной из важных характеристик гранул суспензионного полистирола, определяющей его свойства и режим переработки, является молекулярная масса. С увеличением молекулярной массы повышается механическая прочность и теплостойкость полистирола. Молекулярная масса может составлять от 30 000 до 60 000.

Для изготовления литейных моделей гранулы полистирола, как правило, подвергаются предварительному подвспениванию — нагреву, который сопровождается ростом гранул. Предварительным процесс называют потому, что его прерывают и продолжают в дальнейшем при оформлении моделей в пеноформах. При вторичном нагревании гранулы, расширяясь, заполняют все промежутки и пустоты в пеноформе и спекаются между собой под влиянием возникшего давления. В качестве источника нагрева используются горячая вода, водные растворы солей, паровоздушная смесь, токи высокой частоты, горячий воздух.

Как сообщалось, изготовление литейных моделей методом вспенивания в пеноформах осуществляется при серийном и массовом производстве. Однако вышеописанный процесс получения газифицируемых моделей из плит пенопласта путем механической обработки также часто применяется в серийном производстве.

В каких случаях нужно обратиться к технологии ЛГМ

Если важны следующие факторы:

1. Экологичность процесса

Технология не предполагает применение ядовитых или опасных веществ. Самое вредное в ней — это процесс выжигания раскалённым металлом пенополистирола. Но с одной стороны, сгорая, пенополистирол превращается в углекислый газ, а с другой, при правильной организации производственного процесса, все продукты горения удаляются при вакуумировании.

Но и количество токсичных продуктов горения, которые всё-таки могут выделяться, в разы меньше, чем при классическом способе получения отливок.

Кварцевый песок также легко регенерируется, так как не нужно удалять остатки связующих, а достаточно просто обеспылить.

2. Универсальность материала отливок

Этим способом можно получать отливки из практически всех марок чугуна, стали, а также цветных металлов и сплавов.

3. Безотходность производства

Действительно, это практически безотходное производство. Только 3 % песка уходит из оборота, остальное используется повторно.

4. Высокая точность и сложность отливок

Получение сразу отливок высокой точности позволяет сэкономить на металлообработке, а порой даже отказаться от неё, особенно в случаях, когда такая обработка не показана (отливки турбинных лопаток).

5. Малогабаритное оборудование

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Оборудование для ЛГМ-технологии относительно небольшое и нетяжёлое. Нагрузки на фундамент минимальны и несравнимы с такими классическими технологиями, как ПГС или ХТС. Отсутствуют целые переделы обычной технологии – смесеприготовительное отделение, земельная лаборатория.

6. Экономический расчёт

Технология ЛГМ значительно снижает трудозатраты и финансовые издержки.

Единственное ограничение для повсеместного распространения технологии ЛГМ – это невозможность использования её для крупносерийного и массового производства. ЛГМ применяется чаще для мелкосерийного и единичного производства.

Дефекты в отливках

Сложность технологического процесса производства литья, состоящего из многих, практически самостоятельных и не зависящих одна от другой операций – переделов (подготовка шихты и выплавка жидкого металла, смесеприготовление, изготовление форм и стержней, заливка, обрубка, очистка, термическая обработка, грунтовка и окраска), на каждой из которых возможны нарушения технологии и работают люди различной квалификации, не дает гарантии получения 100 % годности отливок. Брак отливок неизбежен. Он имеет место и при освоении нового технологического процесса, оборудования, новой марки сплава, а также в условиях установившегося технологического процесса при изменении качества исходных шихтовых и формовочных материалов, небрежности в работе.

Дефекты литых деталей можно разделить на несколько основных групп:

- несоответствие геометрических размеров;
- дефекты поверхности;
- внутренние дефекты (несплошности в теле отливки)
- Дефекты подробно описаны в ГОСТ 19200-80.
- В рамках лекции подробно остановимся на внутренних дефектах.

Несплошности в теле отливки

Группа «несплошности в теле отливки» относится к самому сложному разделу литейной технологии. В ее состав входят: разновидности *трещин* в отливках; *газовые раковины*; *усадочные раковины*.

Горячие трещины

Основной причиной образования наружных горячих трещин являются силы сопротивления усадке отливок, создаваемые формой или возникающие вследствие разницы в скоростях охлаждения отдельных частей отливки.

При охлаждении залитого в форму металла у стенок образуется тонкая корочка твердой фазы, из которой внутрь жидкого металла начинают прорастать дендриты. Вокруг них располагаются пленки остаточного жидкого металла, глубоко заходящие в связи между кристаллами и образующие острые надрезы.

При возникновении в корочке напряжений вследствие торможения усадки формой или смежными элементами отливки наружная корочка, имеющая гораздо более низкую температуру, чем слой дендритов, пластически растягивается, а скелет дендритов, имеющий надрезы в виде глубоко проникающей в него жидкой фазы и лишенный из-за высокой температуры пластических свойств, дает трещину. По мере



Рисунок 5. Дефект – горячие трещины: а – схема; б – дефектная отливка

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

нарастания твердой корки в зависимости от величины затрудненной усадки трещина выходит на поверхность отливки или на отдельных участках остается под коркой металла.

Горячие наружные трещины – это поверхностные или сквозные разрывы тела отливки, имеющие неравномерную ширину и извилистый характер.

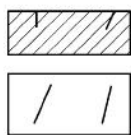
Излом трещин межкристаллитный, темный, покрытый слоями окислов; иногда на нем обнаруживаются дендриты. Такие трещины частично или полностью завариваются жидким металлом из незатвердевших внутренних частей отливки. В этом случае на поверхности отливки над трещиной образуется гребень затвердевшего металла.

Основными факторами, влияющими на образование *горячих наружных трещин* на отливках, являются: свойства литейной формы (податливость, теплоаккумулирующая способность смеси); условия заливки металла в форму (температура, длительность, место подвода металла); конструкция отливки; химический состав стали.

Холодные трещины

Холодными трещинами обычно называют нарушения сплошности тела отливки, возникающие вследствие развития литейных напряжений (термических, фазовых и усадочных) при переходе из области пластических деформаций в область упругих. Холодные трещины – это разрывы тела отливки, имеющие равномерную ширину. Поверхность излома – мелкозернистая, блестящая или покрытая цветами побежалости.

По интервалу температур образования к холодным трещинам следует отнести и трещины, встречающиеся в классификациях под названием «раскол» и образующиеся в результате случайного механического повреждения. Холодные трещины чаще всего возникают в чугунных и стальных отливках замкнутой формы, с большим различием толщин стенок при недостаточной толщине ребер жесткости. Причинами образования этого дефекта могут явиться плохая податливость стержней, наличие массивных литых каркасов, заливки и другие факторы.



а



б

Рисунок 6. Дефект – холодные трещины: а – схема; б – дефектная отливка

Газовые раковины

По причине возникновения газовые раковины можно разделить на металлургические и технологические. Первую группу образуют газы, расположенные в жидком металле. Технологическую группу дефектов составляют источники газов, связанные с технологией литейной формы. Из технологических факторов, вызывающих появление газовых раковин на отливках, определяющими

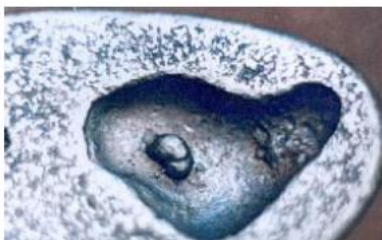


Рисунок 7. Дефект – газовые раковины

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

являются следующие: неудовлетворительный вывод газов из стержней и форм; низкокачественные исходные материалы для изготовления смесей и красок; некачественная сушка формы и стержней; неправильно выполненная литниковая система; неправильный режим заливки формы.

По форме газовые раковины бывают следующих типов: *шаровидные* и *округлые, вытянутые*. Поверхность газовых раковин может быть окисленной (черной, темнокоричневой или бурой), и не окисленной (светлой). В обоих случаях встречаются раковины с гладкой или шероховатой поверхностью.

Усадочные раковины

Представляют собой внутренние полости неправильной формы с шероховатой поверхностью, сосредоточенные преимущественно в верхних, затвердевающих в последнюю очередь частях отливок. В большинстве случаев они имеют форму сужающейся книзу воронки с окисленной поверхностью, которая продолжается в виде отдельных замкнутых полостей. Усадочные раковины могут быть открытыми и замкнутыми. К ним относятся газоусадочные раковины типа утяжин, располагающиеся обычно вблизи внутреннего узла или углубления и не обязательно в верхней по заливке части отливки.

Разновидностью усадочных раковин является усадочная пористость, в частности, осевая усадочная рыхлота. Основным способом борьбы с усадочными раковинами является осуществление принципа направленного затвердевания отливки, а также улучшение литейной технологичности отливок.

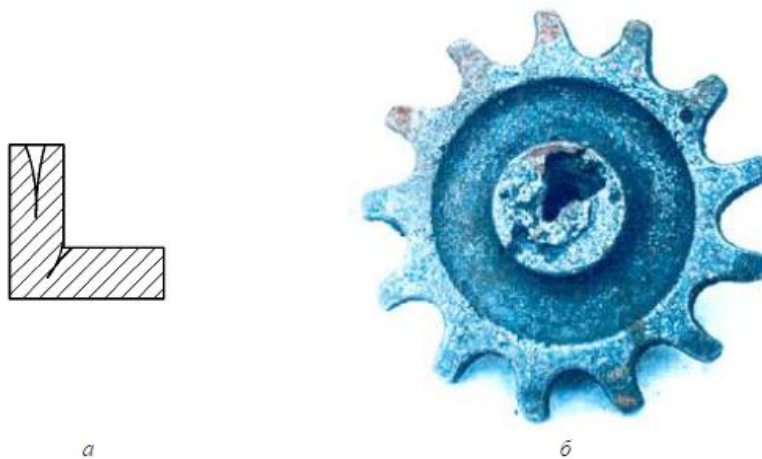


Рисунок 8. Дефект – усадочная раковина: а – схема; б – дефектная отливка



Рисунок 9. Дефект – усадочная пористость: а – схема; б – дефектная отливка

Шлаковая раковина

Дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком. Возникает из-за попадания шлака в форму во время заливки; неправильного расчета и конструкции литниковой системы и низкой вязкости шлака.

Для устранения шлаковой раковины необходимо тщательно очищать ковш от остатков предыдущей плавки; при заливке применять чайниковые или стопорные ковши или сгущать шлак; проверять расчет литниковой системы; применять литниковые системы с шлакоуловителем, питатели расширяющегося типа для отливок из стали; литниковые чаши, обеспечивающие задержку шлака; фильтровальные сетки в литниковой системе; повышать вязкость шлака путем присыпки в ковш сухого кварцевого песка.

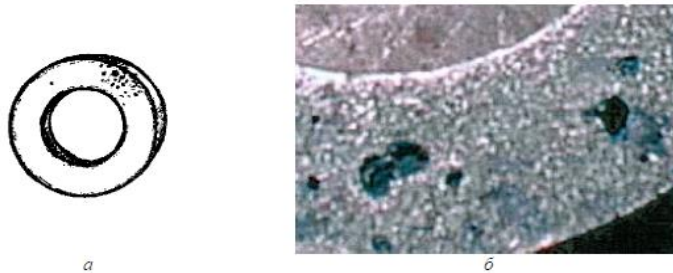


Рисунок 10. Дефект – шлаковая раковина: а – схема; б – дефектная отливка

Вопросы контроля качества литых заготовок и деталей

В атомной энергетике объем контроля регламентирован требованиями ПНАЭ Г-7-025-90 «Стальные отливки для атомных энергетических установок. Правила контроля», в газовой и нефтехимической промышленности – отраслевыми стандартами (ОТТ, СТО).

Отдельное внимание хотелось бы обратить на следующие нюансы:

- места срезки литейной прибыли являются концентраторами напряжения и подлежат обязательному контролю неразрушающими методами (имеют место случаи, когда именно в месте срезки образуются трещины, которые развиваются в процессе эксплуатации);
- метод неразрушающего контроля не позволяет выявить поры и неметаллические включения размером до 0,5 мм (и их скопления), которые оказывают существенное влияние на свойства отливки;
- наиболее значительным для обеспечения надежности деталей арматуры является влияние неметаллических включений. При хрупком разрушении неметаллические включения опасны как первичный очаг. Хрупкое разрушение могут вызвать как крупные включения, так и скопление мелких. Неметаллические включения увеличивают анизотропию свойств, особенно показатели пластичности (относительное сужение и удлинение) и играют большую роль в усталостной прочности стали. Вблизи включений внутренние напряжения растут, что приводит к возникновению микротрещин. Микронапряжения вблизи включений, вызванные различием физических свойств металла и включений, достигают 250 МПа. Неметаллические включения, выходящие на поверхность изделия или залегающие вблизи нее, могут стать очагом усталостной трещины и создавать внутренние напряжения в металле.

Проектирование литых деталей

Конструктивные особенности при проектировании литых деталей

При конструировании отливок следует стремиться к созданию технологичных конструкций. Основные задачи получения качественных и экономичных отливок определяются приведенными ниже положениями.

Для предотвращения образования трещин при охлаждении отливки надо обеспечить её свободную усадку в форме. В связи с этим следует максимально снизить количество выступающих деталей.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Конструкция отливки должна предотвращать возникновение внутренних напряжений и трещин, для чего необходимо обеспечивать выравнивание скорости охлаждения отливки во всех сечениях. Для этого делают плавные переходы между различными сечениями, а также ребра жесткости в опасных сечениях. Предусматривают утолщение краев отливок и окон отбортовками (рисунок 1).

Конструкция отливки должна способствовать одновременному или последовательно направленному затвердеванию металла. В первом случае необходима наибольшая равномерность сечений, во втором – постепенное увеличение массивности стенок в желательном направлении затвердевания с тем, чтобы было обеспечено постепенное уменьшение скорости затвердевания по мере приближения к прибыли (рисунок 2).

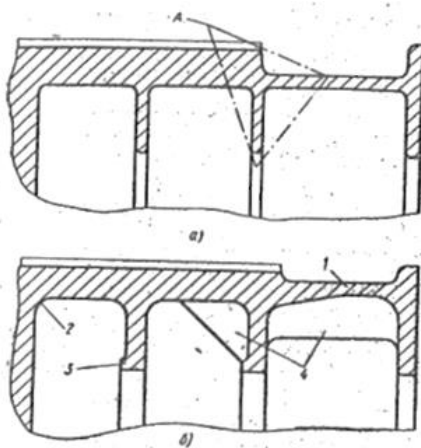


Рисунок 1. Сечение стойки:
а и б – до и после изменения; А – места образования трещин; 1 – плавный переход от толстой стенки к тонкой; 2 – увеличенные радиусы; 3 – отбортовка стенок по контуру окон; 4 – ребра жесткости

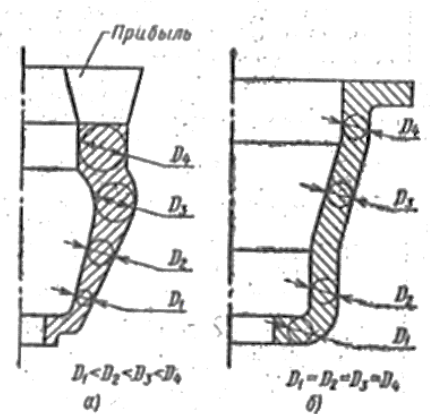


Рисунок 2. Принципы затвердевания отливок: а – последовательно направленное; б – равномерное

Для увеличения жёсткости литой детали и предотвращения её коробления, некоторые элементы детали выполняют с рёбрами жёсткости, а стенки с большой поверхностью - утолщают буртиками.

При конструировании необходимо выбирать наиболее простую конфигурацию отливки. Если конструкция детали позволяет, то желательно модель будущей отливки делать неразъёмной. Тогда при изготовлении формы она будет располагаться в нижней полуформе, где качество и точность литья всегда выше. Если модель приходится делать разъёмной, то количество разъёмов должно быть минимальным, а сами они должны быть простыми, так как в противном случае теряется точность размеров изделия и затрудняется применение формовочных машин.

При конструировании внутренних полостей отливок, которые изготавливаются с помощью стержней, необходимо предусматривать минимальное их число. Это связано с тем, что на изготовление стержней уходит до 80% времени от времени изготовления отливки и стержневые смеси очень дороги.

При конструировании будущей отливки следует избегать отверстий небольшого диаметра и других мелких деталей - фасок, канавок и т. д., которые рациональнее выполнить при последующей механической обработке.

Места скопления металла. У литых деталей, несмотря на стремление конструктора обеспечить равномерную толщину стенок, всегда имеются места скопления металла – металлотермические узлы.

Эти узлы образуются в местах пересечений и сопряжения стенок; в местах расположения выступов, приливов и бобышек, а также за счет утолщения при назначении припусков на механическую обработку. Такие горячие узлы медленнее затвердевают, и в них вследствие недостаточного питания жидким металлом в процессе затвердевания образуются усадочные раковины и рыхлоты. Особенно нежелательно

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

наличие термических узлов у отливок из сплавов с повышенной усадкой. В связи с тем, что обеспечить равномерное затвердевание отливки бывает затруднительно, на практике применяют так называемый принцип направленного затвердевания. При этом литью деталь необходимо так конструктивно оформить, расположить в форме и подвести к ней жидкий металл, чтобы затвердевание началось в тонких местах, постепенно распространяясь на более толстые, и заканчиваясь в прибылях, установленных на самых массивных местах.

Приложение 1: Технологические операции процесса литья в песчаные формы

Изготовление модельного комплекта

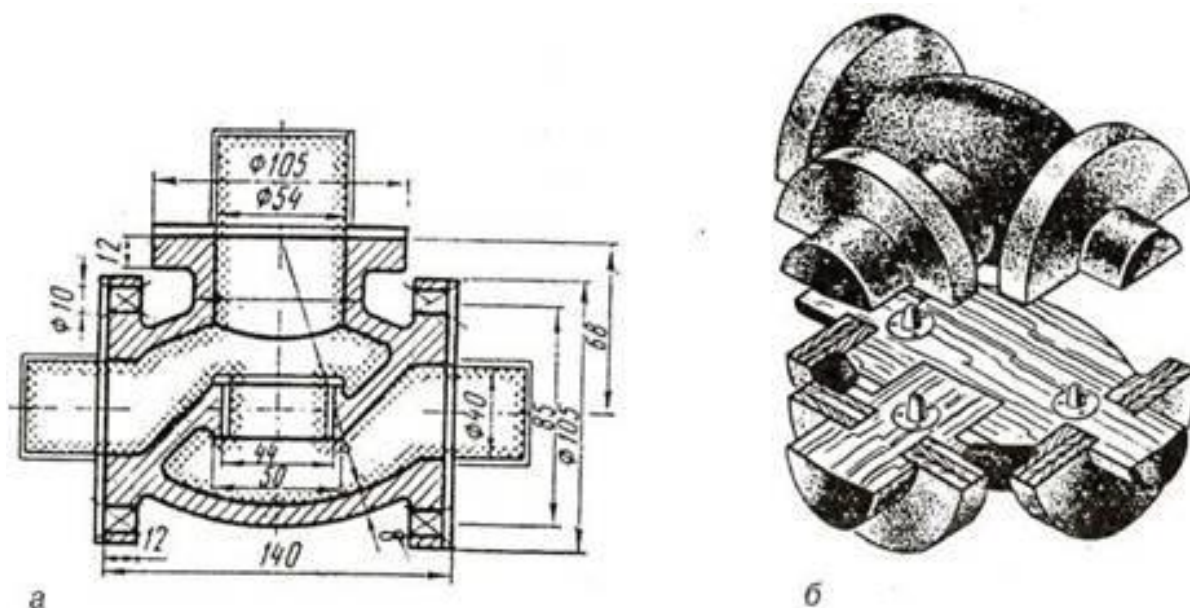


Рисунок 1. Разъемная модель детали тройник:
а — чертеж отливки со стрежнями; б — модель отливки без подрезок

Модельный комплект — это комплект формовочных приспособлений, необходимых для изготовления литейной формы. Он включает литейную модель; стержневой ящик, модель литниковой системы, опоки, подмодельную плиту, формовочные и сборочные шаблоны для конкретной отливки.

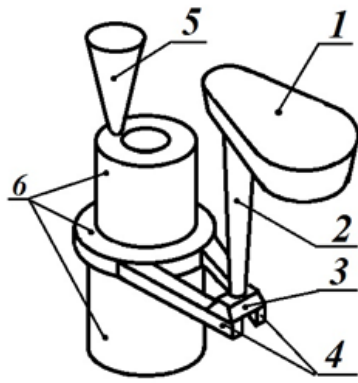
Стержни образуют сквозные отверстия, полости или углубления в отливке. Для их изготовления применяются приспособления — стержневые ящики. Стержневые ящики выполняются из дерева или металла.

Модели выполняются из дерева или металла (чаще всего из сплавов алюминия с медью) с учетом припуска на механическую обработку. Т.к. все металлы при охлаждении уменьшают свои линейные размеры, модели делают больше отливки на величину усадки. Деревянные модели покрывают лаком для предотвращения попадания влаги, приставания формовочной смеси и придания гладкой поверхности.

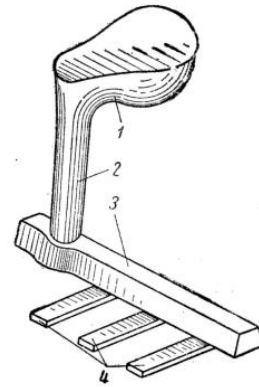
Металлические модели изготавливают для серийного и массового производства отливок. Деревянные модели выдерживают лишь несколько десятков формовок.

Модели могут быть цельные и разъемные в зависимости от конфигурации и размеров детали.

Литниковая система — система каналов и элементов формы для подвода в ее полость расплавленного металла (см. рисунок 2). Она обеспечивает заполнение и питание отливки при затвердевании, в также служит для улавливания шлака, попадающего вместе с металлом.



1 – чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель;
4 – питатель; 5 – выпор; 6 – отливка



1 – чаша; 2 – стояк; 3 – разводящий канал;
4 – питающий канал

Рисунок 2. Примеры литниковых систем

Основными элементами литниковой системы являются:

литниковая чаша – служит для приема расплавленного металла из ковша и подачи его в форму;

стояк – вертикальный или наклонный канал, предназначенный для подачи расплавленного металла из литниковой чаши к другим элементам системы;

шлакоуловитель – служит для задержки шлака и кусочков формовочной смеси, а также для подвода расплавленного металла от стояка к питателям;

питатель – служит для подвода расплавленного металла в полость литейной формы;

выпор – предназначен для вывода газов из формы при заливке, контроля заполнения формы расплавленным металлом и для слива холодного металла из верхней части полости формы;

прибыль – предназначена для питания жидким металлом той части отливки, в которой из-за усадки металла может образоваться раковина. В этом случае раковина образуется не в отливке, а в прибыли, которая в последствии удаляется. Поэтому прибыли располагают в наиболее толстых частях отливки.

В зависимости от формы и толщины стенок и от заливаемого металла питатели могут подводиться к отливке сверху, снизу или сбоку.

Формовочные и стержневые смеси

Выбор технологического процесса для конкретного отделения тесно связан с общими и специальными требованиями, которые предъявляются к готовым отливкам по геометрической точности, эксплуатационной надежности и шероховатости поверхности и др.

Для получения качественных отливок в песчаных формах большое значение имеют формовочные смеси, качество которых зависит от качества исходных материалов. Формовочная смесь состоит из наполнителя (песок, порошок), связующего (применяют огнеупорную глину, портландцемент, жидкое стекло, синтетические смолы; для изготовления стержней – жидкое стекло с порошкообразными и жидкими отвердителями, фенолфурановые, фенолформальдегидные, карбамидно-фурановые, а также фосфатные связующие и специальных добавок (тонкодисперстные порошки, увеличивающие плотность смеси. Добавки повышают прочность смеси за счет активации системы «наполнитель – связующее», препятствуют проникновению металла в форму как порозаполнители).

Основные требования, предъявляемые к формовочным и стержневым смесям

Все свойства смесей делятся на *технологические, рабочие и общие*.

К технологическим свойствам смесей относятся прочность во влажном и упрочненном состояниях, выбиваемость, осыпаемость, текучесть, живучесть и долговечность.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

К рабочим – прочность в нагретом состоянии, огнеупорность, податливость, газотворность и газопроницаемость, поверхностная прочность, склонность к пригару и теплофизические характеристики смесей.

Общие свойства зависят от свойств исходных формовочных материалов и определяют объемную массу, пористость, зерновой, минералогический и химический составы. От комплекса свойств смесей наравне с технологическими особенностями зависит качество отливок.

Перед использованием смеси, выпущенные из смесителя, утрямбовывают. Для уплотнения смеси применяют различные способы: уплотнение трамбовками, прессование, вибропрессование, встряхивание, вдувание и выстреливание смеси (пескодувный и пескострельный способы), метание порций смеси (пескометный способ), вакуумирование форм и др. В процессе уплотнения смеси изменяется ее структура и возрастает плотность. Способность смеси к увеличению плотности при уплотнении называется уплотняемостью.

Формовочные смеси разделяют на *облицовочные* (применяются только свежеприготовленные смеси), *наполнительные* (допускается изготовление из отработанных смесей) и *единые*.

Облицовочные непосредственно соприкасаются с металлом (толщина слоя 20 ÷ 30 мм).

Наполнительные смеси служат для заполнения остальной части формы.

Единые применяются для изготовления формы целиком при машинной формовке.

В качестве облицовочных смесей используются только свежеприготовленные смеси. Наполнительные смеси готовятся из отработанной смеси, полученной при выбивке отливок из форм.

Заливка металла может осуществляться либо в сырую форму, либо просушенную. Заливка в сырую форму более экономически выгодна (не требуется длительная просушка). Но не всегда возможна, тем более для крупногабаритных деталей: прочность сырых форм для крупногабаритных деталей оказывается недостаточной. Для формовки в сырую применяются формовочные смеси, содержащие от 2 до 10 % глинистых веществ. Такие смеси называют тощими. Для изготовления форм с последующей их сушкой применяют полужирные формовочные смеси, содержащие от 10 до 30 % глинистых веществ. Высушенные формы для чугунного литья покрывают внутри формовочными красками: для форм чугунных отливок используют краски, содержащие графит; для стальных отливок – порошкообразный кварц и др. материалы. Широко применяются смеси содержащие жидкое стекло.

Стержни находятся в более тяжелых условиях, чем стенки формы. При заливке они почти полностью находятся в жидком металле, а из затвердевших отливок они должны легко удаляться, поэтому необходимо чтоб стержни обладали повышенной прочностью, огнеупорностью, податливостью и газопроницаемостью. Стержневые смеси разделяют на:

- песчано-глинистые. Применяются для изготовления крупных стержней на каркасах;
- песчано-масляные. Состоят смеси из речного или кварцевого песка с добавкой связующих веществ (крепителей): сланцевой смолы, торфяного пека и др. веществ, которые при сушке связывают песок.

Изготовление разовых форм/формовка

Формовка может производиться вручную или на машинах, с применением стержней или без них. Машинная применяется в основном при массовом и серийном производстве мелких и средних отливок.

Ручная формовка

Ручная формовка может производиться в опоках и почве, по модели (наиболее удобна) и по шаблону.

Существует много способов ручной формовки рассмотрим наиболее распространенные и удобные для деталей арматуры.

Формовка в опоках

Формовка в двух опоках производится как по цельной, так и по разъемной модели и очень широко распространена в литейных цехах машиностроительных заводов. Если модели мелкие, их можно

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

формовать в одной опоке сразу по несколько штук. При этом расстояние между отдельными моделями берется 20-25 мм и от края опок 20-30 мм. Отливку обычно размещают в нижней опоке, а каналы литниковой системы и выпоры в верхней. Рассмотрим вариант формовки по разъёмной модели.

Формовка в двух опоках по разъёмной модели

Опоки – представляют собой ящики без дна из чугуна, стали или алюминиевых сплавов (рисунок 5). Основные этапы формовки представлены на рисунке 6.

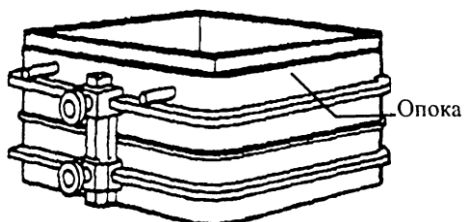


Рисунок 3. Опока

При формовке в двух опоках по разъёмной модели на модельную плиту сначала устанавливают нижнюю часть модели лицевой стороной кверху, на эту же доску ставят нижнюю опоку. Модель, предварительно протертую керосином, припудривают модельной пудрой и засеивают тонким слоем (15 ÷ 20) мм облицовочной смеси. Затем заполняют опоку наполнительной смесью и утрамбовывают до необходимой плотности.

Набитую опоку накалывают душником (специальная спица) для обеспечения выходов газов, накрывают второй подмодельной доской переворачивают на 180 ° и ставят на выровненную площадку на плацу. Первую подмодельную доску снимают и поверхность разъема формы посыпают мелким разделительным песком.

Далее на заформованную половину модели накладывают вторую ее половину и верхнюю опоку ставят на нижнюю, положение фиксируют штырями. Припудривают модель, устанавливают модели литников и выпора и заформовывают верхнюю опоку в таком же порядке, как нижнюю. После набивки верхней опоки и накалывания в ней вентиляционных каналов вытаскивают из верхней опоки модель стояка и выпоров и расширяют верхнюю часть стояка в виде литниковой чаши. Затем снимают верхнюю опоку, устанавливают ее плоскостью разъема вверх, прорезают питатели на нижней полуформе и смачивают кромки обеих полуформ в местах соприкосновения их с половинками моделей для предупреждения осыпания формовочной смеси при выемке модели. После этого вынимают подъемником модели из формы, исправляют возможные повреждения, припыляют и приглаживают поверхности, устанавливают стержень и, наконец, собирают форму для заливки, опустив верхнюю опоку на нижнюю по направляющим штырям.

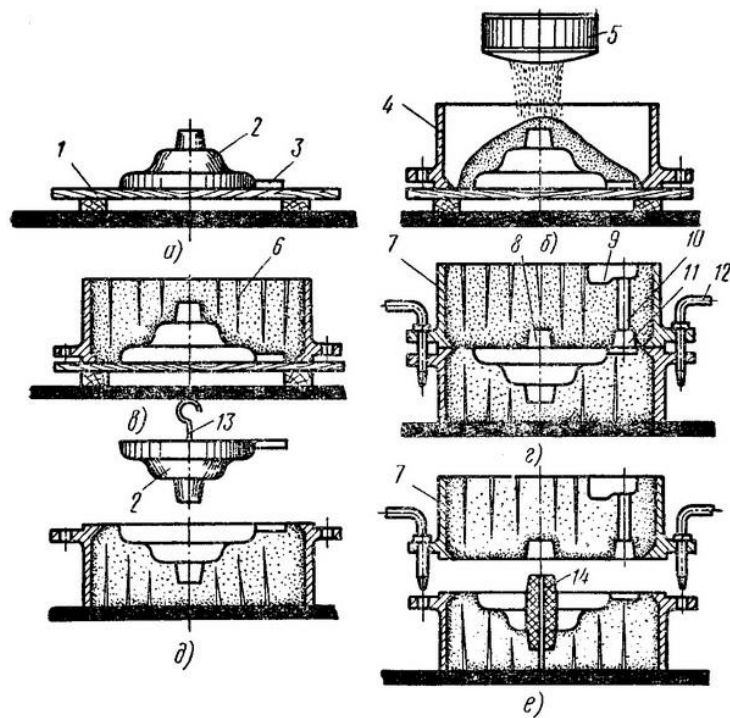


Рисунок 4. Последовательность операций при ручной формовке:

а – подготовка к набивке формы, б. а – набивка нижней полужормы, г – набивка верхней полужормы, д – извлечение модели из нижней полужормы, е – сборка форм; 1 – подмодельный щиток, 2 – модель отливки, 3 – модель питателя, 4 – нижняя опока, 5 – сито, 6 – газоотводные каналы, 7 – верхняя опока, 8 – знак модели, 9 – модель литниковой чаши, 10 – модель стояка, 11 – модель шлакоуловителя, 12 – направляющий штырь, 13 – подъем, 14 – стержень

Модели сложных отливок иногда требуют большого количества плоскостей разъема, так как при одной плоскости удаление отдельных частей модели невозможно. В этом случае применяют формовку в трех или более опоках.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок используют противопопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски.

Формовка в почве

Формовка в почве бывает открытой и закрытой. Производится в почве литейного цеха.

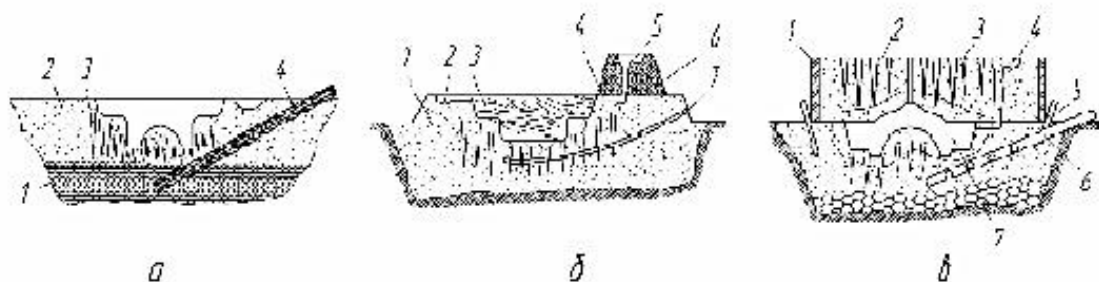


Рисунок 5. Почвенная формовка

Формовкой в почве называют процесс изготовления форм на земляном плацу формовочного отделения. Открытая почвенная формовка применяется для неотчетливых отливок с плоской верхней стороной. Работа начинается с приготовления постели. Для этого на формовочном плацу роют яму, диаметр которой немного больше размера проекции модели, а глубина больше высоты модели (примерно на длину лопаты).

Формовка по скелетной модели

Формовка по скелетной модели – формовка для крупногабаритных отливок, представляющая собой комбинацию формовки по модели и формовки по протяжному шаблону (рисунок 6). Скелетную модель, толщина стенок которой равна толщине стенок будущей отливки, заформовывают в почве. Отделяют внутреннюю поверхность формы и застилают бумагой. По полученному своеобразному стержневому ящику изготавливают стержень, верхняя часть которого зачищают шаблоном. Затем снимают верхнюю часть модели, вынимают стержень и тем же шаблоном удаляют смесь между брусками в нижней модели. Извлекают нижнюю часть модели, форму отделяют и выполняют литниковую систему.

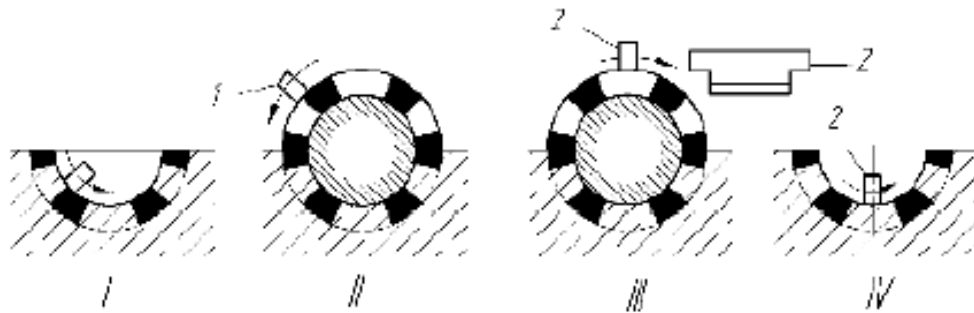


Рисунок 6. Схема формовки по скелетным моделям: I – отделка внутренней поверхности формы; II – формовка стержня; III – отделка стержня; IV – отделка внешней поверхности формы; 1, 2 – шаблоны

Сборка и заливка литейной формы

Сборка литейной формы включает:

- установку нижней полуформы;
- установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы;
- установку верхней полуформы по центрирующим штырям, а также обязательный контроль на всех этапах.

Стержневые знаки (*выступающие части стержня*) необходимы для установки и крепления стержней в форме. Знаковые части образуют в отливке отверстия (окна) и сквозные полости. Знаковые части необходимы также для вывода газов, образующихся в стержнях после заливки их расплавом. Для удобства установки стержней знаки в форме делают несколько больших размеров, чем знаки стержней.

При соединении полуформ выступающая часть знака стержня должна свободно попадать в соответствующий знак в верхней полуформе. С этой целью знаки, расположенные в верхней полуформе, делают несколько короче и с большим уклоном.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Важное значение имеет температура расплавленного металла. Целесообразно назначать ее на $(100 \div 150)^\circ\text{C}$ выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки.

Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Ниже приведено краткое описание способов заливки.

Свободная – заполнение жидким сплавом неподвижной формы без каких-либо воздействий на расплав в различном устройстве, струе или при затвердевании. Разливка под действием силы тяжести.

Непрерывная – свободная заливка в неподвижную форму в условиях непрерывного вытягивания из нее затвердевающей части отливки при непрерывном дополнении жидкого сплава из разливочного устройства.

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Намораживанием – через нормированное время после заливки сплава в форму, когда затвердеет определенная часть отливки, жидкая часть сливается; образуется отливка с полостью.

Центробежная – свободная заливка во вращающуюся форму. Сплав, соприкасаясь с формой, вовлекается во вращательное движение. В процессе затвердевания на отливку действует центробежная сила.

Совмещенная – в процессе формирования отливки подвижная часть формы деформирует ее твердую часть и выжимает жидкую.

Под давлением – сплав из разливочного устройства поступает в форму под поршневым или пневматическим давлением.

Температурный режим заливки

Литейный сплав расплавляют в плавильных печах. Ориентировочно принимается следующая температура заливки расплава: сталь (1500 ÷ 1600) °С; серый литейный чугун (1260 ÷ 1400) °С; бронзы (1100 ÷ 1150) °С; алюминиевые сплавы (700 ÷ 780) °С.

Температуру заливки конкретного литейного сплава определяют по его перегреву относительно температуры ликвидуса. Выбор перегрева зависит от его влияния на структуру и механические свойства сплава, толщины (минимальной, преобладающей) и протяженности стенок отливки, склонности сплава к пленообразованию, теплофизических свойств материала формы и ее начальной температуры.

Температура заливки зависит от толщины стенок изделия: чем меньше толщина стенки, тем выше температура. При повышении температуры стали возрастает ее жидкотекучесть, что имеет практическое значение при заливке тонкостенных отливок. Чем выше температура заливки металла, тем лучше концентрируется усадочная раковина и пористость в прибыли, уменьшаются газовые и неметаллические включения, что обеспечивает более высокие механические свойства отливок. При пониженных температурах снижается объем усадочной раковины и уменьшается пригар. Это может быть использовано при создании таких условий заливки, когда металл в прибыли будет иметь более высокую температуру, чем сама отливка. Практически это достигается доливкой прибылей горячим металлом, засыпкой открытой поверхности прибыли малотеплопроводным материалом, применением экзотермических прибылей и т.д. Таким образом, при выборе температуры заливки стали следует в каждом случае искать оптимальное решение.

При заливке форма подвергается давлению жидкого металла, который стремится приподнять верхнюю опоку, что может привести к образованию щели и выливанию расплава. Для предотвращения этого опоки скрепляют скобами или кладут сверху груз.

Замер температуры стали производится термопарой погружения перед выпуском и после выпуска из печи. На дне ковша и у стенок металл охлаждается быстрее, чем в середине, вследствие чего в первый момент после открытия стопора в форму поступает наиболее холодный металл.

Выдержка стали в ковше. После выпуска из печи сталь выдерживается в ковше в течение 10-15 минут. Во время выдержки металла в ковше происходят всплывание неметаллических включений, выделение значительного количества растворенных газов, выравнивание температуры по объему ковша.

Охлаждение, выбивка и очистка отливок

Охлаждение отливки. Процесс превращения сплава в отливку, совершающийся в форме, можно рассматривать как некоторый обобщенный технологический путь. Произведение силы на путь есть работа. Отсюда понятие «работа литейной формы».

Взаимодействие формы с залитым в нее сплавом делится на этапы.

Первый этап. Взаимодействие поверхности стенок литейной формы с жидким сплавом. Продолжительность этапа на данном участке поверхности формы от долей секунды до 2 ÷ 3 с. На данном этапе возможно размывание и частичное разрушение элементов литейной формы металлическим потоком. Может происходить проникновение металлического расплава в поры формы с образованием

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

механического пригара. Из поверхностного слоя формы могут выделяться газы, которые в виде пузырьков будут всплывать в верхнюю часть отливки.

Второй этап. Взаимодействие поверхностного слоя формы с коркой. Продолжительность этапа от нескольких до десятков секунд. В твердой корке на этом этапе могут существовать участки жидкости, в которых развивается обратная ликвация.

Отливка отдает основное количество теплоты перегрева.

Тепловой поток начинает распространяться вглубь стенок литейной формы. Начинается взаимодействие атмосферы формы с металлом отливки; образуются оксиды металлов, которые вступают в химические реакции с материалами формы; появляется химический пригар.

На поверхности раздела литейной формы и отливки повышается давление газов, обычно приводящее к микроскажению металлической поверхности, а также к образованию поверхностных газовых пузырей в отливке.

Третий этап. Взаимодействие литейной формы с затвердевающей отливкой. Продолжительность этапа от нескольких минут до десятков часов, в зависимости от толщины стенки отливки. Затвердевание последовательно продвигается вглубь отливки; тепловой поток последовательно прогревает стенки литейной формы. Формирование химической фазы пригара в форме и измененного приповерхностного (обезуглероженного) слоя в отливке завершается.

Происходит интенсивное механическое взаимодействие отливки и литейной формы.

Размеры отливки уменьшаются, размеры формы могут увеличиваться. Усадке выступающих частей отливки препятствуют помещающиеся между ними объемы литейной формы, что может приводить к трещинам. Газовые процессы перестают играть существенную роль. Под действием теплоты отливки в формовочных материалах происходит процесс, ведущий к их упрочнению или, наоборот, разупрочнению, что определяет их выбиваемость.

Четвертый этап. Взаимодействие литейной формы с затвердевшей охлаждающейся отливкой. Продолжительность этапа от часов до нескольких суток.

Отливка и литейная форма охлаждаются как единое целое. Процесс завершается, когда отливка приобретает температуру, приемлемую для ее выбивки. После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливок особенно велика. Кроме того, на воздухе отливки остывают быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений. Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. По-этому выбивку стремятся производить при максимально высокой допустимой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки, может быть рассчитана или определена экспериментально. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения. Например, формы, залитые на конвейере, охлаждают обдувкой их воздухом в охладительных галереях. Остывание крупных отливок интенсифицируют установкой в форму змеевиков или труб, по которым пропускают воздух или воду. В некоторых случаях воздух (газ) пропускают через зазор между отливкой и формой. Средняя скорость охлаждения отливок в формах колеблется от 2 до 150 °C/мин. Скорость охлаждения выбирают с учетом толщины стенок отливки и прочностных свойств сплава. При большой разнице скоростей охлаждения отдельных частей отливок возникают большие термические

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

напряжения, которые могут привести к короблению отливок или появлению в них трещин. При принудительном охлаждении отливок возможно не только сокращение продолжительности выдержки их в форме, но также выравнивание скоростей охлаждения тонких и массивных узлов и снижение термических напряжений.

Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до $(500 \div 700)^\circ\text{C}$, чугунные до $(400 \div 500)^\circ\text{C}$. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до $(200 \div 300)^\circ\text{C}$, а отливки, не склонные к образованию трещин, до $(800 \div 900)^\circ\text{C}$. Температура выбивки отливок из бронз составляет $(300 \div 500)^\circ\text{C}$, из алюминиевых и магниевых сплавов соответственно $(200 \div 300)^\circ\text{C}$ и $(100 \div 150)^\circ\text{C}$.

Выбивка отливки осуществляют на специальных выбивных установках. Форма выталкивается из опоки выталкивателем на виброжелоб, по которому направляется на выбивную решетку, где отливки освобождаются от формовочной смеси. Выбивку стержней осуществляют вибрационно-пневматическими и гидравлическими устройствами.

Обрубка отливок – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливов по месту сопряжения полуформ.

Осуществляется пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, при помощи газовой резки и на прессах.

После обрубки отливки зачищают, удаляя мелкие заливки, остатки выпоров и литников. Выполняют зачистку маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок. Для удаления пригара и улучшения поверхностей отливки подвергают очистке галтовкой, дробеструйной, дробеметной, вибрационной и электрохимической обработке.

Дробеметная или дробеструйная обработка – на столах, в барабанах или камерах отливки обдуваются в течение $(15 \div 20)$ минут высокоскоростной струей стальной или чугунной дроби.

Очистка гидравлической или пескогидравлической струей осуществляется под давлением 35 атм.

После остывания и выбивки отливки как правило подвергают термической обработки. Т.к. отливки часто имеют крупнозерное строение, локационные зоны, неоднородное распределение легирующих элементов и неметаллических включений, что негативно отражается на механических свойствах и качестве отливки.

Приложение 2: Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах 1 (рисунок 1, а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рисунок 1, б) выталкивается в холодную воду.

Затем модели собираются в модельные блоки 3 (рисунок 1, в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют от 2 до 100 моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рисунок 1, г) с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3 ÷ 5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6 ÷ 8 часов при температуре (850 ÷ 950) °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рисунок 1, д)

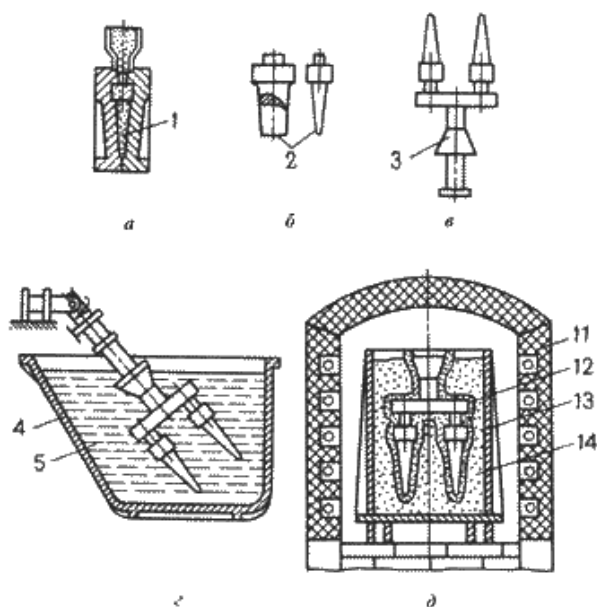


Схема точного литья по выплавляемым моделям: 1 - формовка восковой модели; 2 - из отдельных моделей собирается "елочка"; 3 - на "елочку" наносится слой керамического порошка; 4 - из керамической формы выплавляют воск; 5 - форма заливается снаружи керамикой, это делает ее более прочной; 6 - еще прочнее форма становится после обжига; 7 - теперь форму можно заполнить расплавленным металлом; 8 и 9 - после остывания металла остается разбить форму и разобрать "елочку" - теперь уже металлическую - на отдельные детали

Рисунок 1. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Лекция 07: Изготовление деталей методом литья

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокали в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д.

После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.